

Bírálat

Tárgy:

Nguyen Quang Chinh „Lapcentrált köbös fémek és ötvözetek képlékeny alakváltozási folyamatainak leírása és elemzése” című doktori értekezése.

Értekezésében a Jelölt a polikristályos, lapcentrált köbös fémek és ötvözetek képlékeny alakváltozási folyamatai területén folytatott kutatási eredményeit foglalta össze. A kutatások alapvető célja az volt, hogy az adott fémek és ötvözetek szilárdsági és szívóssági tulajdonságait javítani lehessen a képlékeny alakváltozást befolyásoló tényezők, mint pl. a szemcseméret, a kiválások vagy az oldott ötvözők hatásának mélyebb ismerete és megértése eredményeképpen. A kutatások az ELTE anyagfizikai iskolája régóta művelt területének kutatásaihoz kapcsolódtak, továbbá kihasználták az anyagszerkezet vizsgálati technikájában bekövetkezett technikai fejlődés kínálta lehetőségeket. Az értekezésben összefoglalt kutatási eredmények illeszkednek a világban folyó hasonló kutatási projektek eredményeihez, és hozzájárulnak a képlékeny alakváltozási folyamatok tudományos ismeretanyagának a bővítéséhez, valamint ezen keresztül az ipari felhasználási igények jelenleginél színvonalasabb kiszolgálásához.

A Jelölt – értekezésében – 135 oldalon, öt fő fejezetre tagolva dolgozta fel a választott témát. Az értekezés felépítése áttekinthető, jól követhető, nyelvezete elfogadható; ábrái és táblázatai világosak, kifejezőek, általános külalakja kiemelkedően igényes. Az értekezés 162 általános és 28 saját – az értekezéshez kapcsolódó – hivatkozást tartalmaz. A Jelölt az új tudományos eredményeit nyolc tézisben foglalta össze.

Az értekezés klasszikus felépítésű. A probléma felvetésével foglalkozó **Bevezetést** követő **I. fejezetben** a Jelölt a témával kapcsolatos irodalmat tekintette át és értékelte. Itt a feszültség és az alakváltozás közötti összefüggést leíró egyszerű Hollomon hatványfüggvény, illetve az Voce exponenciális formula korlátainak az ismertetésével alapozta meg a későbbi elméleti megfontolásait. Lényegében végigvette a polikristályos fémek és ötvözetek szilárdságnövelésének ismert mechanizmusait, nevezetesen a képlékeny alakváltozás folyamatában alapvető szerepet játszó diszlokációk mozgását akadályozó anyagszerkezeti tényezők szerepét és értelmezését. Ide tartozik maga a képlékeny alakítás (diszlokáció-sűrűség növelés), amely területen a kutató munka a nagymértékű (intenzív) képlékeny alakítási mechanizmusok közül a könyöksajtolás (ECAP) és a nagynyomású csavarás (HPT) eljárással foglalkozott. A HPT elemzésekor említeni lehetett volna a hidrosztatikus vagy ahhoz közeli feszültségi állapot szerepét az alakíthatóságra. Gyakran az angol rövidítés első betűje erre utal és nem a kevésbé megfogható tartalmú „High” kifejezésre.

Szintén itt elemezte a Jelölt az ötvözők hatását, nevezetesen a szilárd oldatos, valamint a kiválások keményedés szerepét. Az ötvözők hatása elemzésének egy külön alfejezete foglalkozott a képlékeny instabilitás jelenséggel, a Portevin-Le Châtelier effektussal. A szemcsehatárok (azaz a szemcseméret) szerepének elemzésekor a klasszikus Hall-Petch

összefüggésből kiindulva eljutott az inverz Hall-Petch effektusig. Elemezte továbbá a szemcsehatár-csúszás mechanizmusát. Az irodalmi összefoglaló kitért a stacionárius kúszási folyamatra, mint a nagy hőmérsékletű képlékeny alakváltozási folyamatok egyikére. Nem vitatva az Ashby féle alakváltozási mechanizmus térképek fontosságát és információ tartalmát, néhol keveredtek a leírásban az állandó terhelés (feszültség) hatására bekövetkező kúszási és a folyamatosan növekvő terhelés (feszültség) hatására, pl. a hagyományos szakító kísérlet során előálló alakváltozási jelenségek (lásd 11. oldal).

Az irodalmi összefoglalást a Jelölt azzal zárta, hogy a képlékeny alakváltozás mikro-folyamatainak, illetve ebből adódóan a polikristályos fémek és ötvözetek szilárdságnövelő mechanizmusainak a megismerési folyamata még nem zárult le, tehát van tere további kutatásoknak ezen a területen. Erre építette kutatási célkitűzéseit, amelyek reálisak. Kutatásainak elsődleges céljaként a lapcentrált köbös fémek és ötvözetek képlékeny alakváltozási folyamatainak széles alakváltozási tartományban való leírását jelölte meg. Második célkitűzésének megfogalmazásában az „alaposabban” kifejezés tartalmatlan, ezt meg lehetett volna elegánsabban is fogalmazni.

Az értekezés **II. fejezetében** a Jelölt röviden bemutatta a munkája során alkalmazott módszereket és a kísérleti anyagokat. A mechanikai vizsgálati módszerek közül kiemelendő az erő és a benyomás mérésén alapuló eljárás (*instrumented indentation test, IIT*), amit szoktak mélység-érzékeny benyomódás vizsgálatnak is nevezni, ahogy a Jelölt is nevezte. A „dinamikus” jelző használatát itt indokolatlannak tartom. A mikroszerkezeti vizsgálatok közül kiemelendő az atomi erőmikroszkópos (*atomic force microscopy, AFM*) mérés. A kísérleti anyagok Al és ötvözetek voltak.

A **III. fejezet** képezi az értekezés legterjedelmesebb és egyben legfontosabb részét. Ennek első részében a Jelölt ismertette és értelmezte saját kutatási eredményeit. A feszültség és alakváltozás kapcsolat kísérleti eredményeinek az elemzésére építve arra a következtetésre jutott, hogy a Hollomon, valamint a Voce képletek jellemezte anyagi viselkedés matematikailag kifejezhető egy exponenciális összefüggéssel, és felírta ezt a (konstitutív) egyenletet. Az egyenlet érvényességét kísérleti eredményekkel támasztotta alá. Az eredmények a kis alakváltozás tartományban igazolták a képletet. A nagy alakváltozások tartományára bemutatott igazolás számomra nem meggyőző: a III.6. ábra bal oldalán (kísérleti anyag: Al) a 473 K hőmérsékletre bemutatott görbét egy pontra illesztette. Ugyanitt a jobb oldali ábrán (kísérleti anyag: Cu) nem adta meg a kísérlet hőmérsékletét.

A Jelölt az általa felírt új egyenlet elméleti háttérét a mikroszerkezetben végbemenő diszlokációs folyamatokkal támasztotta alá. Hivatkozott arra, hogy a makroszkopikus és a mikroszkopikus egyenletek között kapcsolat van, de ezt nem fejtette ki részletesen. Többször fogalmazott úgy, hogy a termikus aktiválás hatása a feszültség csökkenése (pl. 42. oldal). Ez a kijelentés pontatlan, mert a nagyobb hőmérsékleten csökkenő folyási feszültség nem a termikus aktiválás következménye, hanem a diszlokációk mozgatásához szükséges kisebb energia hatása, ami az atomok intenzívebb rezgésének a következménye. Termikus aktivációt valamely fémtani folyamat beindításához társítunk.

A III. fejezetben a Jelölt jelentős terjedelmet szentelt egy kísérleti anomália értelmezése során feltárt jelenségnek, az önlágyulásnak. A jelenséget nagytisztaságú Ag mintán észlelte, és ennek különböző mértékben könyöksajtott mintái mikroszerkezetének elemzésével

magyarázta. Elméleti magyarázatában központi helyet foglalt el a kis rétegződési hibaenergia szerepe az ilyen anyagok szobahőmérsékleti instabilitására.

A képlékeny instabilitás kísérleti vizsgálatát a Jelölt IIT (mélység-érzékeny benyomódás mérése) segítségével végezte. Vizsgált stabil szilárd oldatú ötvözetet (Al-Mg) és túltelített szilárd oldattal jellemezhető ötvözetet (Al-Zn-Mg). Vizsgálta az alakváltozási sebesség, az ötvöző tartalom és a környezeti hőmérsékleten történő hevertetés hatását, majd megfelelő módon interpretálta a kísérleti eredményeket. Nem vagyok arról meggyőződve, hogy a III.38.d ábrán látható jelenség elnevezése („katasztrofális repedések”) helytálló.

A kísérletek záró részében a Jelölt ECAP intenzív képlékeny alakítási eljárással létrehozott ultra-finom szemcseszerkezetű alumíniumot és ötvözetét vizsgálta. Igen hasznosnak bizonyult a kísérleti munka során a nano-indentációs technika és az atomi erőmikroszkópia (AFM) együttes alkalmazása. A Vickers gúla benyomódása környezetében keletkezett kitüremkedés morfológiájának AFM vizsgálata, illetve a profil felvétele olyan részletekre mutatott rá, amelyek más technikával nem lettek volna vizsgálhatók.

Irodalmi és korábbi saját kutatási adatok felhasználásával a Jelölt elméleti megfontolásokat tett a Hall-Petch összefüggésre ultra-finom szemcseszerkezetű lapcentrált köbös anyagokra. Feltételezte a különböző szemcseméret tartományokban végbemenő képlékeny alakváltozási folyamatokat vezérlő diszlokációk számát, és javasolt egy módosított Hall-Petch összefüggést. Az összefüggés paramétereinek fizikai tartalma további igazolást igényel.

A IV. fejezetben a Jelölt röviden utalásokat tett munkája eredményeinek gyakorlati hasznosítására. A járműgyártás és más iparágak egyre növekvő igényei, amelyeket nagyobb tartósságú, biztonságos, környezetkímélő, prémium felületi minőségű termékekkel lehet csak kielégíteni, általánosságban alátámasztják a kutató munka jelentőségét és megelőlegezik az eredmények hasznosíthatóságát.

Az értekezésben foglalt tudományos eredmények értékét nem csökkentve, szükségesnek tartom felhívni a Jelölt figyelmét a következőkre:

- Az értekezés címében képlékeny alakváltozás szerepel. Az értekezésben ezt a legváltozatosabb módon variálta a plasztikus és deformáció szavakkal. Gyakran az alakváltozás vagy deformáció jelző nélkül szerepelt. Mindez nem hiba, de a terminológia következetes alkalmazása könnyíti a megértést és segít elkerülni a félreértést.
- Az alkalmazott terminológia néhol eltér a mérnöki gyakorlatban bevált és szabványosított terminológiától. Pl. a szakító próbatest keresztmetszet csökkenésére (kontrakciójára) használja a nyakasodás, nyakképződés, befűződés kifejezéseket. A folyásfeszültség helyesen folyási feszültség.
- Tizedes vessző helyett tizedes pontot használ; a hivatalos magyar helyesírás nem ezt használja.
- Az I.14. ábra nem azt mutatja, amit a szövegben rá utaló mondat mond.
- Előfordulnak pontatlan megfogalmazások a szövegben: pl. feszültségsebesség (26. oldal), erősebesség (39. oldal). Ezek feltételezhetően a feszültség és az erő változásának a sebességére utalnak.
- Az I.2. ábra *a)* és *b)* ábráját felcserélte az ábra szövegéhez képest.
- „Nem túl magas hőmérsékletű” képlékeny alakváltozás (49. oldal): nem értelmezhető.

Tézisek:

Az értekezés **V. fejezete** tartalmazza a Jelölt új tudományos eredményeit, nyolc tézisben megfogalmazva. Mielőtt értékelném a téziseket, el kell mondanom, hogy néhány tézis esetében a kevesebb több lett volna, azaz olyan megállapítások, eredmények hígtják a szóban forgó téziseket, amelyek nélkül is megállták volna helyüket az értékelhető tudományos tartalmuk miatt.

- Az 1. tézist abban az esetben fogadom el, ha a bírálatomban korábban említett kételyemet az összefüggés nagy alakváltozások tartományára vonatkozó érvényességéről eloszlatja.
- A 2. tézist abban az esetben fogadom el, ha az 1. tézis elfogadást nyer.
- A 3. tézist a közölt formájában elfogadom.
- A 4. tézist nem tekintem tudományos eredménynek. Az ebben hivatkozott úttörő mérések (IIT, AFM) alkalmazásával kétségtelen, hogy születtek új tudományos eredmények, amelyeket az 5. és a 7. tézis korrektül tartalmaz.
- Az 5., 6. és 7. tézist a közölt formájában elfogadom.
- A 8. tézist nem fogadom el, mert ugyan a javasolt formula levezetése nem kifogásolható, elméleti és kísérleti igazolása nem lezárt.

Összegezve:

A Jelölt hosszú időn keresztül végzett az anyagok mechanikai tulajdonságainak, kiemelten polikristályos fémek képlékeny alakváltozási folyamatainak a megismerését szolgáló kutató munkát. Kutatása jól illeszkedett Tanszéke munkájához, és külföldi egyetemekkel történő kiterjedt együttműködésekhez. Elméleti megfontolásait kísérletekkel és laboratóriumi finomszerkezeti vizsgálatokkal igazolta. Eredményeit jelen doktori értekezésben foglalta össze, amely megítélésem és ismereteim szerint hiteles adatokat tartalmaz.

Mindezek alapján javaslom Nguyen Quang Chinh MTA doktori értekezésének nyilvános vitára bocsátását.

Bicske, 2015. 12. 06.



Dr. Trampus Péter
az MTA doktora